

Fecha: 15/FEB/2010

**PROGRAMA ACADÉMICO: FISICA**

**SEMESTRE: VI**

**ASIGNATURA: MECANICA CUANTICA I**

**CÓDIGO: 8108577**

**NÚMERO DE CRÉDITOS: 4**

### PRESENTACIÓN

La Mecánica Cuántica es una rama de la física que estudia el comportamiento de la materia cuando las dimensiones de ésta son muy pequeñas tales como, el núcleo atómico, el átomo y las moléculas, principalmente. Requiere de una profunda revisión de la estructura de las leyes y conceptos básicos de la mecánica clásica y el uso de un formalismo matemático riguroso. Inicialmente la mecánica cuántica no incorpora la relatividad en su formalismo, se añade mediante teoría de perturbaciones. La parte de la mecánica cuántica que sí incorpora elementos relativistas de manera formal y con diversos problemas, es la mecánica cuántica relativista o, de forma más exacta y potente, la teoría cuántica de campos (que incluye a su vez a la electrodinámica cuántica, cromodinámica cuántica y teoría electrodébil dentro del Modelo Estándar de partículas elementales y más generalmente, la teoría cuántica de campos en espacio-tiempo curvo. No obstante, la única interacción que no se ha podido cuantificar ha sido la interacción gravitatoria.

Aunque el marco de aplicación de la Teoría Cuántica se limita, casi exclusivamente, a los niveles atómico, subatómico y nuclear, donde resulta totalmente imprescindible, también lo es en otros ámbitos, como la electrónica (en el diseño de transistores, microprocesadores y todo tipo de componentes electrónicos), en la física de nuevos materiales (semiconductores y superconductores), en la física de altas energías, en el diseño de instrumentación médica (láseres, tomógrafos, etc.), en la criptografía y la computación cuánticas, y en la Cosmología teórica del Universo temprano.

Se espera que los estudiantes que tomen este curso tengan una preparación básica en mecánica Lagrangiana y Hamiltoniana para sistemas físicos simples, una formación en física moderna o física atómica desde el punto de vista cuántico, ecuaciones diferenciales, series y transformadas de Fourier, álgebra matricial, funciones especiales y algunos rudimentos de álgebra tensorial.

El desarrollo de este curso se fundamenta en tres partes esenciales: lo conceptual, lo matemático y lo experimental. La parte conceptual se basa en los diferentes aspectos epistemológicos de la Mecánica Cuántica. La parte matemática en las formulaciones de Dirac, Schrödinger y Heisenberg. Y la parte experimental en la interpretación de la realidad manifiesta en el acto de medición dentro del mundo microfísico.

### JUSTIFICACIÓN

Como el desarrollo de la Mecánica Cuántica ha estado ligado de manera íntima a los acontecimientos más sobresalientes de la historia de la física en los últimos cien años, la Mecánica Cuántica es una de las bases fundamentales de la física contemporánea, y en consecuencia, es un prerrequisito esencial para la realización de una especialización, maestría, doctorado, cualquier trabajo de investigación de punta o la simple lectura de un libro o artículo en cualquier área de la Física.

### COMPETENCIAS

- Reconocer los postulados básicos de la Mecánica Cuántica haciendo uso de la notación de Dirac y Schrödinger.
- Utilizar las herramientas matemáticas en la solución de problemas de mecánica cuántica.
- Aplicar los conceptos y principios fundamentales de la estructura teórica de la Mecánica Cuántica en la interpretación de algunos fenómenos físicos de la física atómica, nuclear, molecular y estado sólido.
- Realizar la revisión de artículos relacionados con la Mecánica Cuántica en un idioma extranjero.

### METODOLOGÍA

Las unidades temáticas no necesariamente se desarrollarán en estricto orden, algunos temas pueden adicionarse y otros pueden suprimirse a juicio del Profesor. El desarrollo de los temas obedece a razones de tipo pedagógico y didáctico. Algunos temas se verán en forma de repaso ya que han sido vistos en el curso de Física Atómica o Moderna. En cada unidad temática el Profesor a través del sistema Moodle entregará una serie lecturas basada en algunos libros o artículos.

Antes de una sesión de trabajo el Profesor suministrará una serie objetivos mínimos de aprendizaje que expresan concretamente con claridad y exactitud qué es lo que los estudiantes estarían en capacidad de hacer una vez hayan terminado de estudiar algún tema específico o realizado algunas actividades de formación. Los objetivos serán de tipo cognoscitivo y formativo. Los objetivos cognoscitivos corresponden a los niveles de construcción del conocimiento tales como: información, comprensión, análisis, integración, aplicación y argumentación. Los objetivos formativos, tienen que ver con otros aspectos como asistencia a clases, entrega oportuna de trabajos, orden y pulcritud en los desarrollos matemáticos, etc. Para cada objetivo existen una serie de criterios de evaluación.

El curso se desarrollará basado en las siguientes actividades: Clases magistrales combinadas con talleres dirigidos basadas en la formulación de la mecánica cuántica y sus aplicaciones en diversos campos de la física. La realización de tareas en las que se indica la metodología de resolución. Realizar un proyecto de asignatura por medio del desarrollo minucioso (revisión) de un artículo.

**CLASES MAGISTRALES:** La asignatura se desarrollará a través de clases teóricas o conferencias, en donde se ejemplificará los ejercicios, se expondrán procedimientos, métodos de trabajo, se orientará la búsqueda de nuevas variantes. Se evaluarán las preguntas y se plantearan nuevas tareas que servirán de motivación para nuevas búsquedas e interrogantes y servirán de puentes para próximas actividades curriculares. Se combinará con los talleres dirigidos.

**TALLERES DIRIGIDOS:** Haciendo uso de la metodología de talleres, el docente con una activa participación de los estudiantes orientará y dirigirá una serie de actividades, las cuales básicamente consisten en realizar desarrollos de problemas específicos y revisión de artículos que conduzcan al dominio de las herramientas conceptuales y matemáticas. Se espera que la mayoría del curso se desarrolle de esta manera.

### INVESTIGACIÓN

**PROYECTO DE ASIGNATURA:** Se entiende que el proyecto de asignatura es un ejercicio académico el cual consiste en el desarrollo minucioso y exhaustivo de un artículo (revisión de un artículo) relacionado con los tópicos vistos en clase. Debe entenderse que es un trabajo dirigido por el profesor, en consecuencia el estudiante debe comunicar sus avances para que el profesor le asigne nuevas actividades a desarrollar, el avance en este tipo de trabajo depende del estudiante. Por lo general un proyecto exitoso termina con la exposición pública de la revisión realizada y en casos excepcionales con la publicación de un artículo.

### MEDIOS AUDIOVISUALES

A través del Sistema moodle de la UPTC se tiene acceso al programa de la asignatura, textos en pdf sobre los tópicos tratados en clase, ejercicios, evaluaciones, calificaciones parciales y totales, enlaces a otros cursos virtuales, en otras palabras, todo lo necesario para desarrollar el curso. Los materiales pueden cambiar sin previo aviso.

## EVALUACIÓN

### EVALUACIÓN COLECTIVA

Para el primer y segundo 50%: Parciales de cada tema (30%), todos los parciales se realizarán con libro abierto y algunos para realizar en casa.

### EVALUACIÓN INDIVIDUAL

Para el primer y segundo 50%: Asistencia a clases, desempeño en los talleres, trabajos escritos, desarrollo de ejercicios y exposiciones (20%).

## CONTENIDOS TEMÁTICOS MÍNIMOS

### UNIDAD I: ASPECTOS BASICOS

Conceptos de Sistema, Variable, Observables, Estado de un sistema, Ecuaciones de estado y nociones de partícula, movimiento, trayectoria. Formulación Newtoniana y Hamiltoniana de la Mecánica Clásica: campo de fuerzas, potencial, momentum, trabajo, y energía. Revisión de análisis vectorial. Serie generalizada de Fourier, ortogonalidad de Funciones y principio de completez. Concepto de espacio vectorial (ortogonalidad y ortonormalidad), El Espacio de Hilbert. Noción de probabilidad. Algebra de matrices. La función Delta de Dirac.

### UNIDAD II: LA FUNCION DE ONDA (OPCIONAL)

La función de onda  $(\psi(r,t))$  y su interpretación. La ecuación de Schrödinger. Estados estacionarios. Partícula libre. Representaciones de posiciones y momenta, densidad de probabilidad, corriente de probabilidad y ecuación de continuidad. Teorema de Ehrenfest. Propagación de paquetes de Ondas. Limite clásico de la ecuación de Schrödinger.

### UNIDAD III: LOS POSTULADOS DE LA MECANICA CUANTICA

Espacios vectoriales y números complejos. Vectores Kets y Bras. Producto escalar. Bases. Principio de correspondencia y definición de operadores cuánticos. Observables y Operadores. Medida de un Observable y ecuación de valores propios. Resultados de medidas. Probabilidad de obtener un valor propio. Relaciones de Incertidumbre y observables compatibles. Preparaciones y medidas. Valor esperado del observable. Evolución temporal de un sistema físico y ecuación de Schrödinger. Estados estacionarios y constantes de movimiento, reglas de cuantificación, Imágenes de evolución temporal.

### UNIDAD IV: PROBLEMAS UNIDIMENSIONALES

Escalón de potencial: Energía inferior a la barrera; Zonas clásicamente prohibidas; Condiciones de continuidad y comportamiento en el infinito; Flujo de partículas incidentes y reflejadas; Energía superior a la barrera; Coeficientes de transmisión y reflexión. Potenciales tipo delta. Potenciales periódicos. Aplicaciones en Física del Estado Sólido. Pozo cuadrado de potencial: Solución de la ecuación de Schrödinger; Paridad de las soluciones; Condiciones asintótica, de continuidad y de suavidad; Cuantificación de la energía; Obtención gráfica de los valores de energía; Comportamiento de las funciones de onda. Pozo de potencial infinito: Solución de la ecuación de Schrödinger; expresión de la energía cuantificada; generalización a tres dimensiones; degeneración de la Energía. El efecto túnel. Oscilador armónico Simple: Importancia del oscilador armónico unidimensional en diferentes ramas de la física; La ecuación de Schrödinger del oscilador armónico unidimensional; solución asintótica; solución por medio de polinomios; valores de la energía; Polinomios de Hermite; Función Generatriz; Relaciones de recurrencia; Estados de ocupación; las funciones de onda de los estados estacionarios. Representación matricial de la Mecánica Cuántica. Operadores escalera: ascenso y descenso.

### UNIDAD V: POTENCIALES CENTRALES

Espectro vibracional y rotacional de Moléculas Diatómicas. El problema de los dos cuerpos: movimiento del centro de masa y movimiento relativo; coordenadas en el centro de masa; el concepto de masa reducida; Pozo de potencial esférico y el deuterón. Pozo de potencial esférico infinito. El átomo hidrogenoide: Obtención de las funciones de onda totales  $(n,l,m)$  de los estados estacionarios del átomo de Hidrógeno; Degeneración de la energía; radio medio y radio de Bohr; Dependencia angular de la densidad de probabilidad; diagramas polares; orbitales; Hidrodinámica: la función de onda  $(r,t)$  como un fluido; corrientes en el átomo hidrogenoide. Comparación con el Modelo de Bohr. El átomo hidrogenoide en coordenadas parabólicas. El oscilador armónico isotrópico tridimensional.

#### UNIDAD VI: MOMENTUM ANGULAR

Definición de momentum angular orbital. Operadores de momentum angular. Relaciones de conmutación. Relación de indeterminación ángulo-momentum angular. Las componentes de  $L$  en coordenadas esféricas.  $L$  como generador de rotaciones, las rotaciones no conmutan. Autofunciones y autovalores de  $L^2$  y de  $L_z$ . Representación matricial de los operadores rotación. Los operadores escalera  $L$ . Partícula en potencial isotrópico; autofunciones simultáneas de  $H$ , de  $L^2$  y de  $L_z$ . La ecuación radial para el átomo de hidrógeno: Potencial de Coulomb; soluciones asintóticas; soluciones exactas y niveles de energía; Polinomios de Laguerre y polinomios asociados; Funciones generatrices y relaciones de recurrencia; soluciones asintóticas; soluciones por medio de polinomios; valores de energía.

#### UNIDAD VII: MOMENTUM ANGULAR INTRÍNSECO (ESPÍN)

El momentum angular intrínseco. El experimento de Stern-Gerlach. Operadores de espín y matrices de Pauli. El momentum angular Total: composición de momenta angulares. Momentum angular total del electrón. Función de onda total. Propiedades de simetría. Sistemas con dos espines. Coeficientes de Clebsch-Gordan.

#### UNIDAD VIII: INTEGRALES DE CAMINO

La amplitud de transición. Evaluando la amplitud de transición para caminos cortos. La integral de camino. Evaluación de la integral de camino para una partícula libre. Porque algunas partículas siguen el camino de mínima acción. Interferencia cuántica debida a la gravedad.

#### UNIDAD IX: MECANICA CUANTICA RELATIVISTA

Algunas nociones de álgebra tensorial, bosones y fermiones, formulación relativista para el electrón. Formulación Lagrangiana para los campos. Ecuación de Klein-Gordon. Matrices de Pauli. Matrices escalera. La ecuación de Dirac. Las matrices gamma. Campos Gauge. Sección eficaz. Aproximación de Born. El potencial de Yukawa.

#### UNIDAD X: SEGUNDA CUANTIZACION

Segunda Cuantización. Cuantificación del campo de radiación y su relación con el oscilador armónico: Coeficientes de Einstein; Teoría semiclásica de la radiación; Regla de oro de Fermi. Aplicaciones: Emisión espontánea de la radiación y absorción de Fotones, Ley de radiación de Planck. Radiación de Frenado. Efecto Compton. La ley de dispersión de Mott. Producción y aniquilación de pares. Diagramas de Feynman.

#### LECTURAS MÍNIMAS

- Sakurai, J.J. Modern Quantum Mechanics. Revised Edition. Addison-Wesley Publishing Company. 1994. Este texto muestra en forma resumida los temas relevantes que hay que saber en mecánica cuántica, sin embargo, no es un libro para principiantes.
- Townsend 5., John. A modern approach to quantum mechanics. Mc-Graw Hill. 1992. Este es un excelente libro de nivel intermedio, aborda todos los temas con claridad y profundidad y tiene un buen discurso didáctico.
- C. Cohen-Tannoudi et. Al. Quantum Mechanics. Volumen 1. John Wiley and Sons. Este es un libro introductorio para principiantes, de fácil lectura y permite obtener una comprensión básica.

#### BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA

- Alonso, Marcelo and Finn, E. J. Física. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá. Volumen 3.
- Eisberg-Resnick. Física Cuántica de átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. México. Balderas:Limusa, 1994
- Harmeke, H. F. Quantum mechanics. John Wiley and Sons. New York.
- Schiff, L.I. Quantum Mechanics. New York:McGraw Hill Company, 1955.
- White, Robert L. Basic Quantum Mechanics. McGraw-Hill. 1966.
- Campos, Diogenes. Mecánica Cuántica. Bogotá:Universidad Nacional, 1986.
- Castillo Torres, Guillermo. Física Cuántica Teoría y Aplicaciones. Tomo 1 y 2. Santafé de Bogotá: Guadalupe, 1992.
- Dirac, P.A.M. Mecánica Cuántica. Barcelona:Ariel, 1967. Explica muy bien el formalismo de Dirac, el oscilador armónico con operadores y la invariancia relativista de la ecuación de Dirac.
- Feymann, Leighton y Sands. Física. Vol. III. Mecánica Cuántica. Fondo Educativo Interamericano. 1971
- Feymann, RP. Lectures on Physics. Vol. III. Adison-Wesley Publishing Company, 1965.
- Landau, L. D. Y Lifshitz E. M. Mecánica cuántica no relativista. Reverté. Barcelona. Volumen 3 del Curso de Física Teórica.
- Messiah A. Quantum Mechamcs. North-Holland. 1965.
- Merzbacher E. Quantum Mechanics. Wiley New York 1961.
- Squires, G.L. Problems in quantum mechanics. Cambndge:Cambridge university Press,1995.

#### **Textos Complementarios**

- Alonso, Marcelo and Valk, Henry. Quantum Mechanics: Principles and Applications. Addison-Wesley Publishing, 1973.
- Born, Max. La Interpretación estadística de la Mecánica Cuántica. 1954.
- Borowit, Sidney. Fundamentos de Mecánica Cuántica. Barcelona:Reverté, 1973.
- Fromhold, Albert Thomas Jr. Quantum Mechanics for Applied Physics and Engineering. New York: Dover Publications. 1981.
- Galindo A, P.Pascual. Mecánica Cuántica. Madrid:Alhambra. 1978.
- García Castañeda, Mauricio. Elementos Básicos de Matemáticas Aplicadas. Universidad Nacional. 1987.
- Gillespie., D.T. Introducción a la Mecánica Cuántica. Barcelona:Reverté, 1976.
- Roman, Paul. Advanced Quantum Theory. An Outline of the fundamental ideas. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company. 1965.
- Sakurai, J.J. Advanced Quantum Mechanics. Addison-Wesley Publishing Company. 1967.